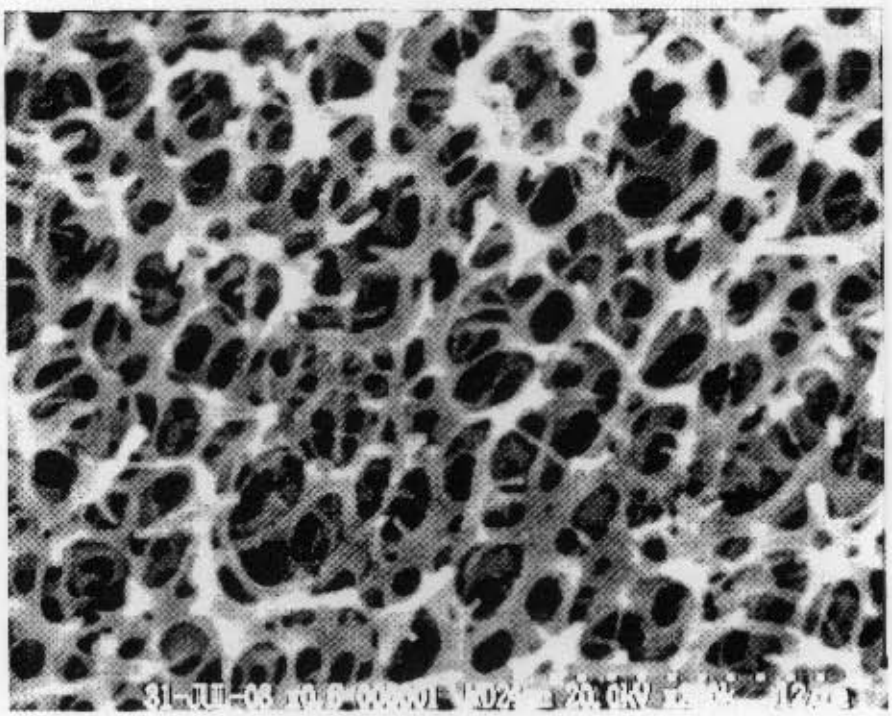
บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของเมมเบรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope :SEM)

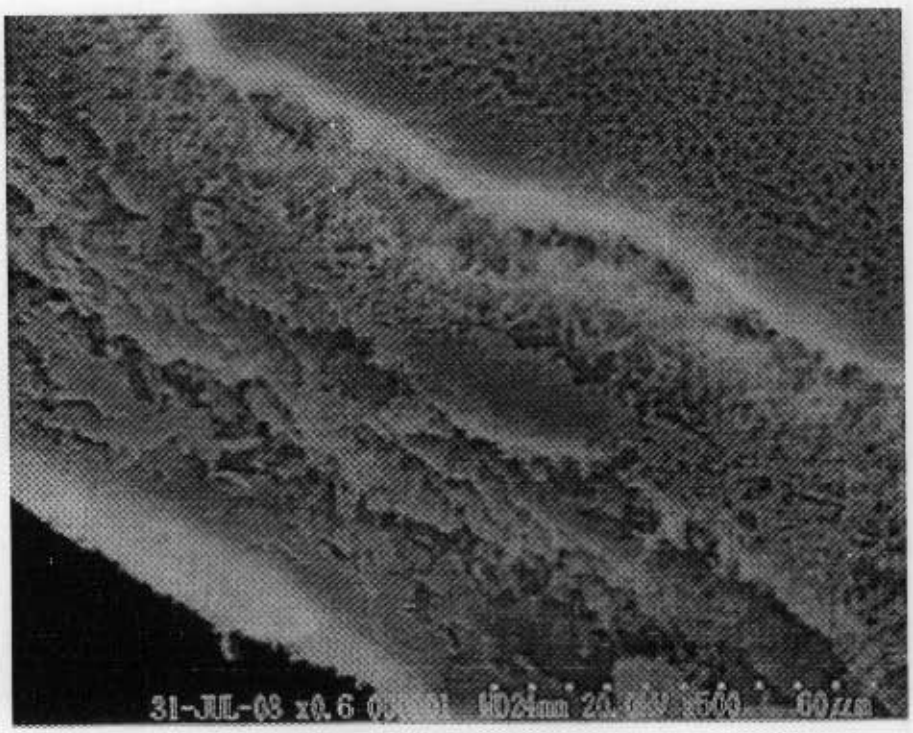
เมมเบรนทางการค้าที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เมมเบรนชนิดแผ่นสังเคราะห์จากวัสดุเซลลูโลสอะซิเตทและเมมเบรนชนิดแผ่นสังเคราะห์จากวัสดุเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% (PVA 10%) จากนั้นนำแผ่นเมมเบรนมาตัดเป็นวงกลมเพื่อให้มีขนาดพอดีกับโมดูลแบบกรอบอัด และมีการนำเมมเบรนไปศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของเมมเบรน ได้แก่ พื้นที่ผิวเมมเบรน (Membrane surface) ขนาดรูพรุน (Pore size) การกระจายตัวของรูพรุน (Pore size distribution) โดยใช้เทคนิค SEM ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นในการถ่ายภาพสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเมมเบรน

4.1.1 ผลของการถ่ายภาพ SEM ของเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท



ภาพที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

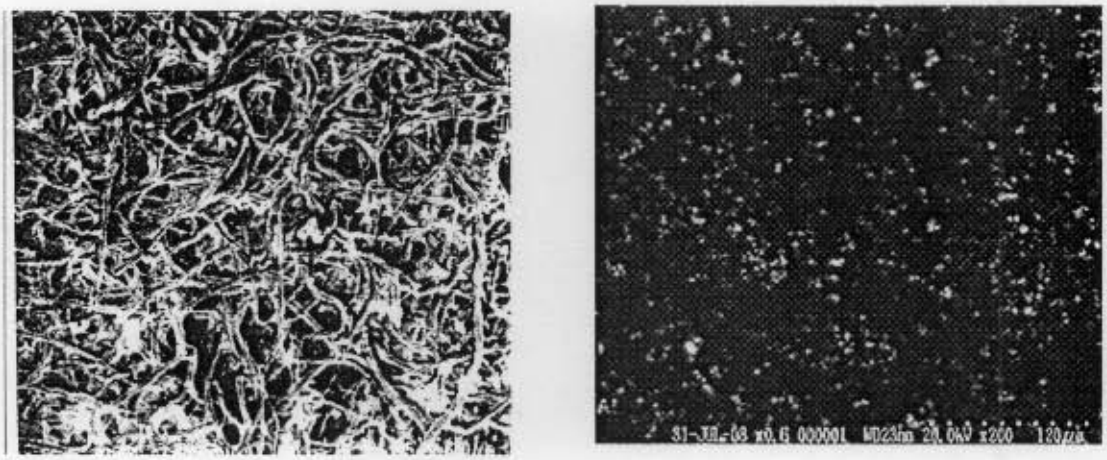
จากภาพที่ 4.1 ภาพ SEM แสดงโครงสร้างของเมมเบรนด้านบน (Top view) บริเวณพื้นที่ผิว มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เชื่อมต่อกันของเส้นใยเซลลูโลสเป็นลักษณะโครงร่างแห (Cross-linked structure) ทำให้เกิดรูพรุนที่มีการกระจายขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ



ภาพที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายด้านตัดขวางของเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ผลจากการถ่ายภาพด้านตัดขวาง (Cross section) ของเมมเบรนด้วยเครื่อง SEM ทำให้ทราบว่าเมมเบรนเป็นชนิดเชิงประกอบ หรือคอมโพสิต (Composite) ที่ประกอบด้วย 2 ชั้น (Layers) มีความหนาประมาณ 90 ไมโครเมตร และลักษณะโครงสร้างภายในเมมเบรนมี 2 ชั้น โดยชั้นผิวส่วนบนคือส่วน active layer ขณะที่ชั้นสองจะเป็นส่วนเสริมโครงสร้างเมมเบรนให้มีความแข็งแรงหรือส่วน supporting layers

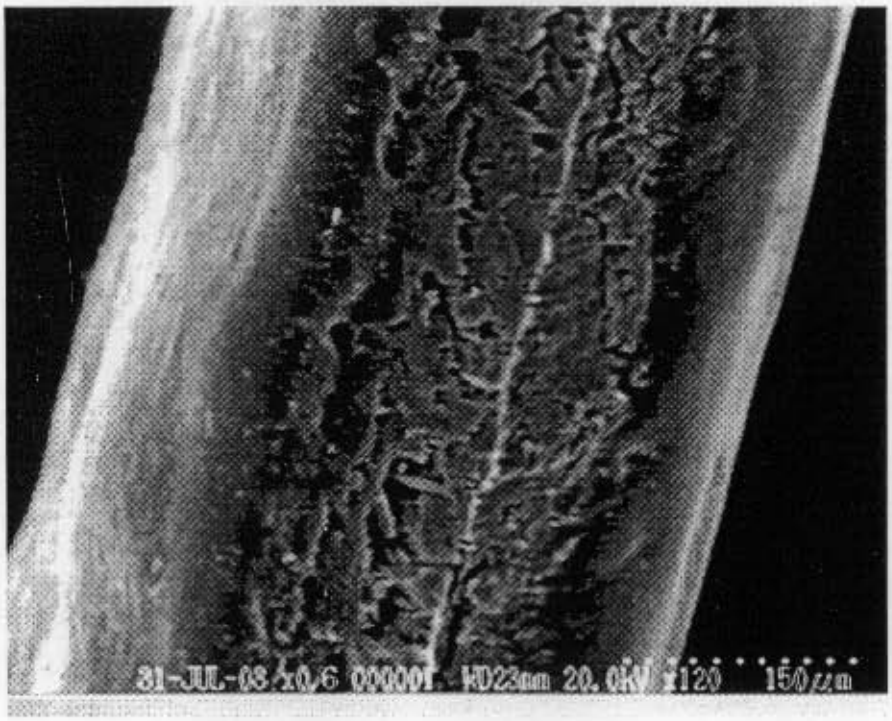
4.1.2 ผลของการถ่ายภาพ SEM ของเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10%



(ก) (ข)

ภาพที่ 4.3 (ก-ข) แสดงภาพถ่ายพื้นผิวของเมมเบรนเซลลูโลสที่ไม่ได้เคลือบที่กำลังขยาย 45 เท่า (ภาพที่ 4.3ก) และเมมเบรนเซลลูโลสที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ที่กำลังขยาย 200 เท่า (ภาพที่ 4.3ข)

จากภาพที่ 4.3 เป็นภาพ SEM แสดงโครงสร้างของเมมเบรนด้านบน (Top view) พบว่าเมมเบรนเมมเบรนเซลลูโลสที่ไม่ได้เคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% (ภาพที่ 4.3ก) บริเวณพื้นที่ผิวมีลักษณะโครงร่างแห (Cross-linked structure) ซ้อนทับกันทำให้เกิดรูพรุนที่มีการกระจายขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ส่วนเมมเบรนเซลลูโลสหลังจากเคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% (ภาพที่ 4.3ข) จะพบจุดสีขาวที่ปรากฏให้เห็นทั่วบริเวณพื้นผิว นั่นคือ พอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ที่เคลือบอยู่บนผิวเมมเบรนและซึมผ่านเข้าไปอุดรูพรุนของเมมเบรนเซลลูโลสทำให้พื้นผิวเมมเบรนมีความแน่นขึ้น



ภาพที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายด้านตัดขวางของเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 120 เท่า

จากภาพที่ 4.4 เป็นการถ่ายภาพด้านตัดขวาง (Cross section) ของเมมเบรนด้วยเครื่อง SEM ทำให้ทราบว่าเมมเบรน มีความหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และลักษณะโครงสร้างภายในเมมเบรนมี 2 ชั้น และยังได้เห็นพื้นผิวด้านหน้าที่ผ่านการเคลือบแล้วพบว่ามีลักษณะนูนบ้างบางแห่งไม่เรียบทั่วทั้งแผ่นอาจจะเป็นผลมาจากปริมาณของสารละลายพอลิเมอร์ที่เคลือบใช้ปริมาณมากเกินไปและพอลิเมอร์ที่เคลือบเมมเบรนมีความหนาประมาณ 50 ไมโครเมตร ซึ่งมีความหนาน้อยกว่าเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท ซึ่งความหนาของเมมเบรนมีผลต่อค่าฟลักซ์และค่า α โดยเมมเบรนที่มีความบางความต้านทานของเมมเบรนมีน้อยจึงทำให้ฟลักซ์สูง การเพิ่มฟลักซ์จะลดค่า α ดังการทดลองของ Qunhui และคณะ (1995) ที่ได้ทดสอบผลของความหนาของเมมเบรนไคโตซานต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน ที่พบว่าเมมเบรนที่มีความหนาน้อยกว่า 30 ไมโครเมตร (10, 20 และ 30 ไมโครเมตร) ค่า α จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเมมเบรน มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความหนาตั้งแต่ 50 ไมโครเมตร เป็นต้นไปค่าα จะเพิ่มขึ้นและจะเริ่มคงที่

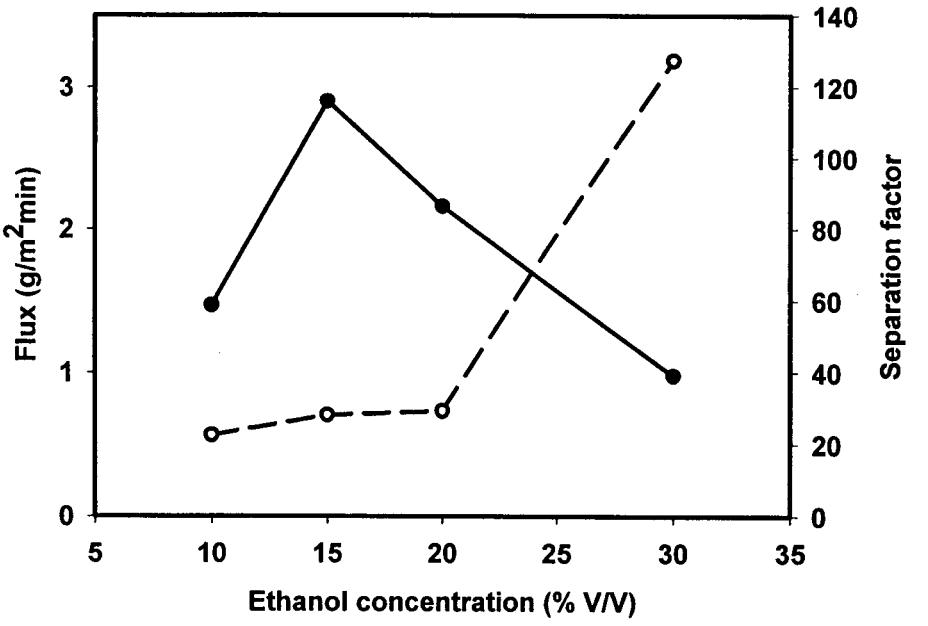
4.2 ผลของความเข้มข้นเอทานอลต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นเอทานอลที่มีผลต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน โดยความเข้มข้นเอทานอลที่ศึกษามี 4 ระดับ คือ 10, 15, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเป็นสภาวะที่ได้ทดสอบมาก่อนแล้ว โดยการใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท ใช้ของผสมตัวอย่างเป็นของผสมเอทานอลกับน้ำที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของเอทานอลในน้ำหมัก พบว่าเป็นสภาวะที่ให้ค่า PSI สูงสุด จึงนำสภาวะนี้มาทำการทดลองต่อในการการศึกษาผลของความเข้มข้นเอทานอลที่มีผลต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชันนี้

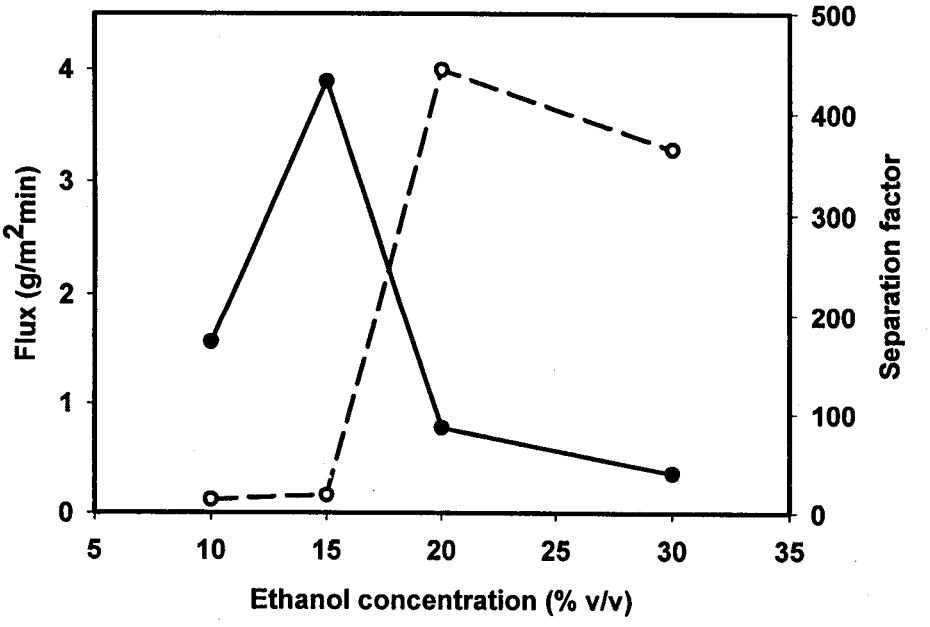
จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 แสดงผลของการทดสอบความเข้มข้นของเอทานอลที่ 10, 15, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท พบว่า ค่าฟลักซ์ของเมมเบรนทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าฟลักซ์ของเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์ PVA 10% จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าฟลักซ์ของเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทเนื่องจากเมมเบรนเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบด้วยพอลิเมอร์ PVA 10% มีความแน่นของรูพรุนมากกว่าจึงทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าน้อยส่งผลให้เกิดการแยกสารได้มากขึ้น ที่ความเข้มข้นเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ค่าแฟคเตอร์การแยก (α) สูงสุด เนื่องจากที่ความเข้มข้นเอทานอลที่ 10-15 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณของเอทานอลอยู่น้อยเมื่อทดสอบกับเมมเบรนที่มีความหนาแน่นของรูพรุนมากยิ่งทำให้เกิดการแยกได้ดีค่า α จึงมีค่าสูง เมื่อความเข้มข้นเอทานอลเพิ่มขึ้น จึงทำให้เอทานอลเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากการแยกเกิดขึ้นน้อย ค่า α จึงลดลง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการทดสอบความเข้มข้นของเอทานอลโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท

ความเข้มข้นของของผสมเอทานอลกับน้ำ (%)	ชนิดของเมมเบรน	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
		(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
10	เซลลูโลสอะซีเตท	9.585	42.963	9.765	43.759	0.566	0.260	0.306	58.789	32.729
	เซลลูโลสเคลือบ PVA 10%	9.742	43.667	9.680	43.372	0.121	0.096	0.025	173.978	20.930
15	เซลลูโลสอะซีเตท	15.010	67.279	15.162	67.938	0.492	0.215	0.277	116.018	56.589
	เซลลูโลสเคลือบ PVA 10%	14.747	66.101	14.787	66.259	0.162	0.052	0.110	432.278	69.867
20	เซลลูโลสอะซีเตท	19.801	88.754	19.516	87.407	0.733	0.440	0.293	86.389	62.590
	เซลลูโลสเคลือบ PVA 10%	19.337	86.674	20.691	92.722	3.995	1.976	2.019	17.467	65.786
30	เซลลูโลสอะซีเตท	30.345	136.015	29.245	131.039	3.187	1.626	1.561	39.176	121.667
	เซลลูโลสเคลือบ PVA 10%	31.139	139.574	32.254	144.539	3.288	1.623	1.665	40.111	128.597



ภาพที่ 4.5 แสดงผลของความเข้มข้นของเอทานอลที่มีต่อค่าฟลักซ์ (--O--) และค่าการแยก (—●—) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท



ภาพที่ 4.6 แสดงผลของความเข้มข้นของเอทานอลที่มีต่อค่าฟลักซ์ (--O--) และค่าการแยก (—●—) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10%

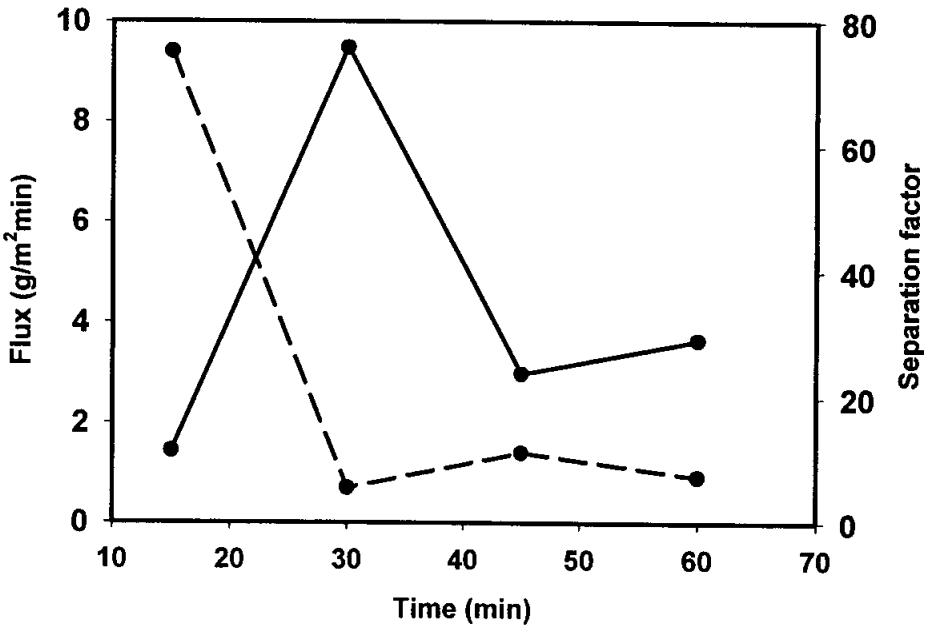
จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำมาเขียนกราฟแนวโน้มดังภาพที่ 4.4 และ4.5 ที่แสดงผลแนวโน้มของความเข้มข้นของเอทานอลที่มีต่อค่าฟลักซ์และค่าการแยกโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% พบว่า ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคล้ายกัน ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 10- 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าแฟคเตอร์การแยกเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% มีค่ามากกว่าของเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท เนื่องมาจากองค์ประกอบของเมมเบรนมีความต่างกันโดยเมมเบรนเซลลูโลสที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ PVA 10% ซึ่งทำให้เมมเบรนมีคุณสมบัติชอบน้ำและการเคลือบเป็นการทำให้เมมเบรนมีความหนาแน่นของรูพรุนมากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้อยกว่าเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทแต่การแยกสารดีกว่าค่า α จึงสูง ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Shieh และคณะ (1998) ที่ศึกษาการแยกเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆโดยใช้เมมเบรนชนิด Chitosan/*N*-methylol nylon ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลค่าฟลักซ์ก็เพิ่มขึ้นด้วยและสูงสุดที่ความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล ส่วนค่า α มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและก็ลดลงจนน้อยที่สุดที่ความเข้มข้นเอทานอลเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ และจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% มีความเหมาะสมในการแยกเอทานอลในสารละลายของผสมเอทานอกับน้ำมากกว่าเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท เนื่องจากค่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงพิจารณาค่า α แล้วพบว่าเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% มีค่า α มากกว่านั่นเอง

4.3 ผลของเวลาที่มีต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน

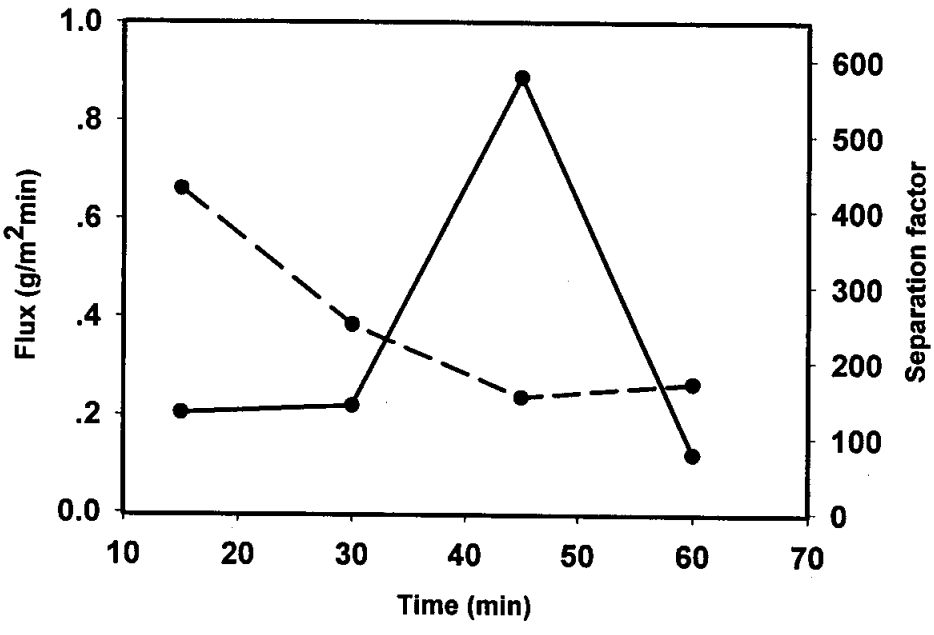
การทดลองนี้ใช้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท ที่เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ใช้เมมเบรนสองชนิดคือเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทดลองด้วยของผสมสองชนิดคือ ของผสมเอทานอลกับน้ำที่มีความเข้มข้นเอทานอล 14-15 เปอร์เซ็นต์ และของผสมเอทานอลในน้ำหมักที่มีความเข้มข้นเอทานอล 13-15 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของเวลาที่ทำการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำและของผสมเอทานอลน้ำหมักโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท ที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท

เวลา (นาที)	ชนิดของของผสม	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/ m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
		(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
15	เอทานอลกับน้ำ	15.987	71.659	14.368	64.378	9.399	4.768	4.131	11.564	99.291
	เอทานอลน้ำหมัก	14.818	66.313	14.687	65.703	0.660	0.399	0.261	132.607	86.861
30	เอทานอลกับน้ำ	14.723	65.993	14.950	66.992	0.705	0.326	0.379	75.885	52.794
	เอทานอลน้ำหมัก	13.848	61.972	13.961	62.455	0.384	0.158	0.226	142.092	54.179
45	เอทานอลกับน้ำ	14.990	67.190	14.257	63.890	1.410	0.719	0.691	23.880	32.261
	เอทานอลน้ำหมัก	13.919	62.290	13.891	62.086	0.236	0.067	0.169	577.366	136.022
60	เอทานอลกับน้ำ	16.180	72.524	15.524	69.550	0.928	0.486	0.442	29.235	26.202
	เอทานอลน้ำหมัก	14.455	64.689	14.240	63.682	0.264	0.165	0.099	78.425	20.440



(ก)

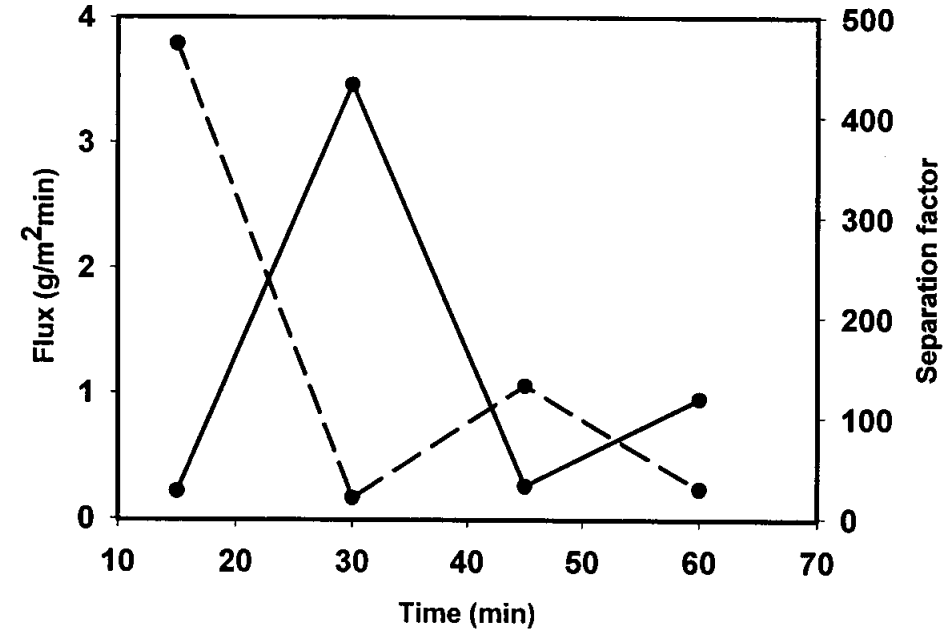


(ข)

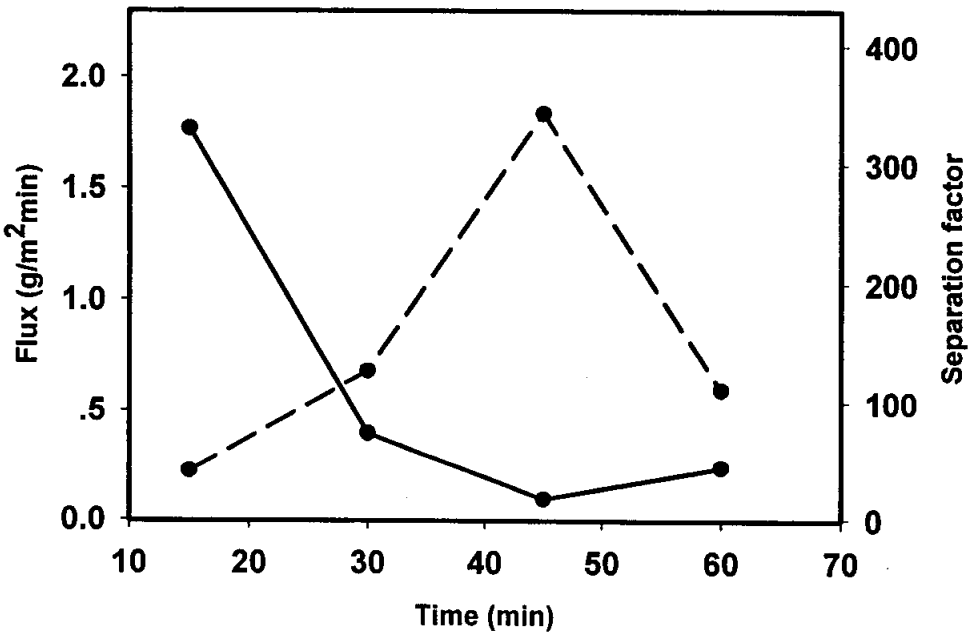
ภาพที่ 4.7 (ก-ข) แสดงผลของเวลาต่อค่าฟลักซ์ (--●--) และค่าแฟคเตอร์การแยก (—●—) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.7 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.7 ข)

ภาพที่ 4.7 เป็นการแสดงแนวโน้มของการเพิ่มเวลาทดลองโดยใช้สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท (ที่เลือกจากหัวข้อที่ 4.2) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตท ทดลองด้วยของผสมสองชนิดคือของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.7ก) และของผสมเอทานอลในน้ำหมัก (ภาพที่ 4.7ก) พบว่า การเพิ่มเวลาทำให้ค่าฟลักซ์ของของผสมทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลง และทุก ๆเวลาของการทดลองค่า α ของของผสมเอทานอลน้ำหมักจะมีค่าดีกว่าของผสม เอทานอลกับน้ำ ดังนั้นเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทน่าจะมีความเหมาะสมสำหรับการแยกเอทานอลออกจากของผสมเอทานอลน้ำหมักมากกว่าของผสมเอทานอลกับน้ำ และค่า α ของของผสมเอทานอลน้ำหมักสูงสุดที่ 45 นาที ส่วนของผสมเอทานอลกับน้ำค่า α สูงสุดที่ 30 นาที

ภาพที่ 4.8 เป็นการแสดงแนวโน้มของการเพิ่มเวลาทดลองโดยใช้สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท (ที่เลือกจากหัวข้อที่ 4.2) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% พบว่า การเพิ่มเวลาฟลักซ์ของของผสมเอทานอลกับน้ำมีแนวโน้มลดลงและที่เวลา 30 นาทีค่าฟลักซ์ลดลงค่า α มีค่าสูงสุด แสดงว่าการแยกเกิดได้ดี ส่วนการเพิ่มเวลาให้กับของผสมเทานอลน้ำหมักที่ 15-45 นาที ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั่นคือสารมีการเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น ส่งผลให้การเมมเบรนแยกสารออกจากกันได้น้อย ค่า α จึงลดลง และที่ 15 นาทีค่า α มีค่าสูงสุด แสดงว่าการแยกเกิดขึ้นได้ดี ถึงแม้ว่าที่ 60 นาทีค่าฟลักซ์ลดลงอย่างมากก็ตามแต่ค่า α มีค่าน้อยกว่าที่ 15 นาที นำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการศึกษาผลของอุณภูมิที่มีต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชันต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.8 (ก-ข) แสดงผลของเวลาต่อค่าฟลักซ์ (--●--) และค่าแฟคเตอร์การแยก (—●—) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.8 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.8 ข)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของเวลาที่ทำการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำและของผสมเอทานอลน้ำหมักโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบโพลิเมอร์ PVA 10% ที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท

เวลา (นาที)	ชนิดของของผสม	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/ m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/ m^2min)
		(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
15	เอทานอลกับน้ำ	14.909	66.827	14.257	63.895	3.788	1.920	1.868	26.700	97.352
	เอทานอลน้ำหมัก	13.931	62.344	13.882	62.110	0.221	0.153	0.068	330.174	72.747
30	เอทานอลกับน้ำ	14.747	66.101	14.787	66.259	0.162	0.052	0.110	432.278	69.867
	เอทานอลน้ำหมัก	13.931	62.344	14.150	63.307	0.679	0.315	0.364	73.749	49.397
45	เอทานอลกับน้ำ	14.489	64.944	15.017	67.293	1.056	0.512	0.544	31.920	32.652
	เอทานอลน้ำหมัก	13.931	62.344	14.852	66.439	1.834	0.892	0.942	17.413	30.101
60	เอทานอลกับน้ำ	14.730	66.024	14.875	66.655	0.232	0.103	0.129	118.959	27.366
	เอทานอลน้ำหมัก	14.297	63.982	14.672	65.620	0.593	0.268	0.325	44.322	25.690

4.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน

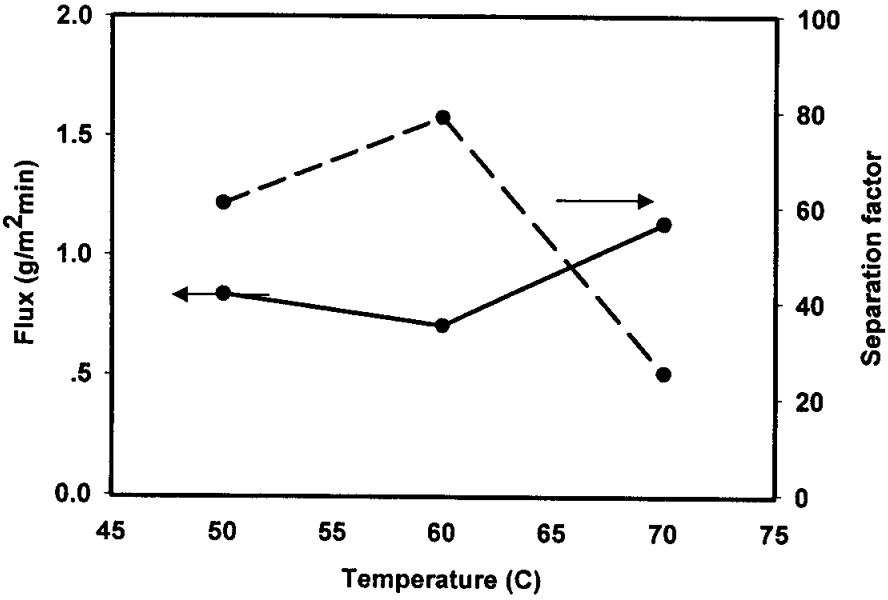
การทดลองนี้ใช้สภาวะการทดลองที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท ทดลองที่อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ก็ได้จากข้อมูลในหัวข้อที่ 4.3 โดยใช้เมมเบรนสองชนิดคือเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทดลองด้วยของผสมสองชนิดคือ ของผสมเอทานอลกับน้ำและของผสมเอทานอลในน้ำหมัก ซึ่งการเก็บตัวอย่างของของผสมทั้งสองชนิดนี้ก็คล้ายกับการเก็บที่ได้กล่าวไวในหัวข้อที่ 4.2 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.4 ที่แสดงผลของอุณหภูมิที่ให้กับสารป้อนโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตททำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท โดยทำการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำใช้เวลา 30 นาที และของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้เวลา 45 นาที พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่าฟลักซ์ของของผสมทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารที่มีจุดเดือดต่ำจะกลายเป็นไอได้ดีกว่ามีผลให้ค่าฟลักซ์เพิ่มและที่อุณหภูมิเดียวกันค่าฟลักซ์ของของผสมเอทานอลกับน้ำมีค่ามากกว่าของผสมเอทานอลน้ำหมักจึงส่งผลให้การแยกสารไม่ดี ค่า α จึงน้อย ที่ 60 องศาเซลเซียสการแยกสารจะเกิดได้ดีและเหมาะสำหรับใช้ทดสอบการแยกเอทานอลออกจากของผสมทั้งสองชนิดเนื่องจากค่า α มีค่าสูง และเมมเบรนชนิดนี้น่าจะเหมาะสำหรับการแยกเอทานอลออกจากของผสมแอทานอลกับน้ำมากกว่า

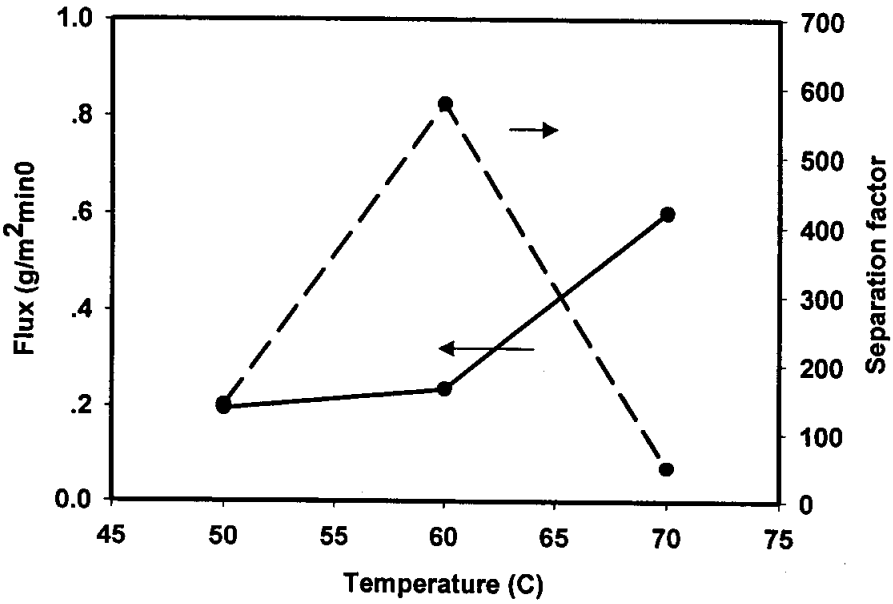
จากตารางที่ 4.5 ที่แสดงผลของอุณหภูมิที่ให้กับสารป้อนโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท โดยทำการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำใช้เวลา 30 นาที และของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้เวลา 15 นาที พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสค่า α มีค่าสูงสุดทำให้เกิดการแยกสารได้ดีและน่าจะสามารถแยกเอทานอลออกจากของผสมทั้งสองชนิดได้ดีที่สุด ที่อุณหภูมิการทดลองเดียวกันค่า α ของของผสมเอทานอลกับน้ำมีค่ามากกว่า ดังนั้นเมมเบรนชนิดนี้น่าจะเหมาะสำหรับแยกเอทานอลออกจากของผสมเอทานอลกับน้ำมากกว่า นำข้อมูลจากตารางที่ 4.4 และ 4.5 มาเขียนกราฟแสดงแนวโน้มได้ดังภาพที่ 4.9 (ก-ข) และ ภาพที่ 4.10 (ก-ข) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของอุณหภูมิที่ให้กับสารป้อนโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตททำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท โดยทำการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำใช้เวลา 30 นาที และของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้เวลา 45 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ชนิดของของผสม	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/ m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
		(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
50	เอทานอลกับน้ำ	15.867	71.121	15.558	69.700	0.834	0.464	0.370	60.850	49.915
	เอทานอลน้ำหมัก	14.485	64.823	14.366	64.267	0.196	0.121	0.075	142.164	27.668
60	เอทานอลกับน้ำ	14.723	65.993	14.950	66.992	0.705	0.326	0.379	75.885	52.794
	เอทานอลน้ำหมัก	13.919	62.290	13.891	62.086	0.236	0.067	0.169	577.366	136.022
70	เอทานอลกับน้ำ	15.305	68.602	16.012	71.720	1.134	1.019	1.150	25.378	27.645
	เอทานอลน้ำหมัก	14.485	64.823	14.148	63.278	0.602	0.337	0.265	50.091	29.553



(ก)



(ข)

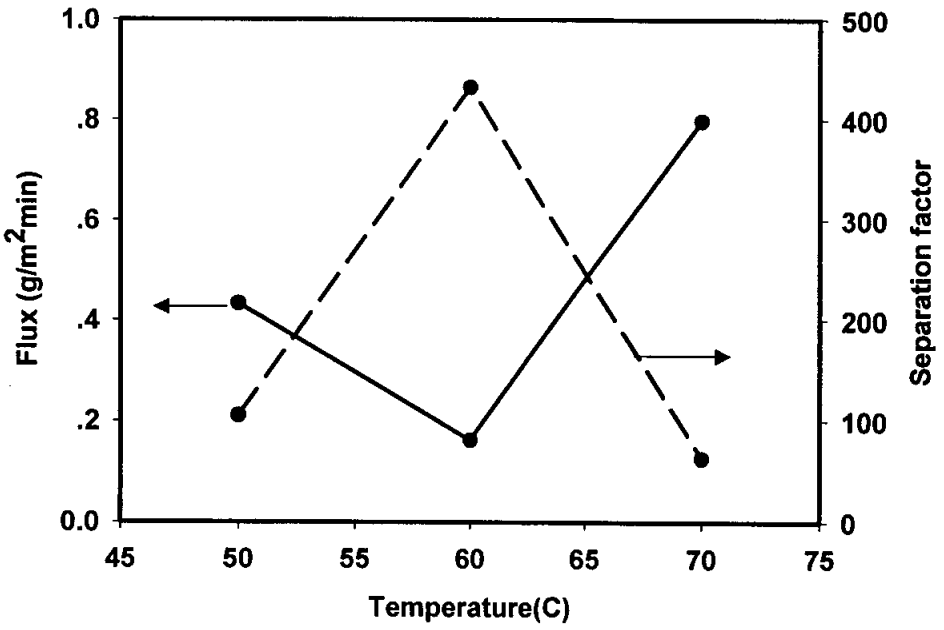
ภาพที่ 4.9 (ก-ข) แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ (—●—) และค่า α (--●--) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตททำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ(ภาพที่ 4.9 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.9 ข)

จากภาพที่ 4.9 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าฟลักซ์และค่า α เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.9 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.9 ข) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทจะเห็นได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่าฟลักซ์ของของผสมทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการทำให้สารกลายเป็นไอได้เร็วสารจึงเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนได้ดีฟลักซ์มีค่าสูง เมื่อฟลักซ์สูงจะส่งผลให้เมมเบรนแยกสารได้ไม่ดีค่า α จึงลดลง ที่ 60 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสำหรับทดลองแยกเอทานอลในกระบวนการเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน เนื่องจากค่า α ของของผสมทั้งสองชนิดมีค่าสูงสุด และเมมเบรนชนิดนี้น่าจะเหมาะสำหรับแยกเอทานอลออกจากของผสมเอทานอลน้ำหมักมากกว่า เพราะค่า α ของของผสมชนิดนี้มีค่าสูงกว่า ซึ่งผลการเพิ่มอุณหภูมินี้สอดคล้องกับรายงานของ Honglei แลคณะ (2008) ที่ศึกษาการทำให้สารละลายเอทานอลที่มีน้ำผสมอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้เมมเบรนชนิดไคโตซานที่เติม H-ZSM-5(50)-CS-08 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารป้อนจะมีผลทำให้ค่า ฟลักซ์และค่า α เพิ่มขึ้น และรายงานการศึกษาของ Jesus และคณะ (2002) ที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบการแยกแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆออกจากน้ำได้แก่ เมทานอล เอทานอล และไอโซโพรพานอลออกจากน้ำ โดยใช้เมมเบรน CMG-OM-010 และเมมเบรน 1060-SULZER ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40-70 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลกอฮอล์ในน้ำ 13-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่า PSI มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่ง Jesus และคณะ ได้อธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์นี้ว่าการละลายและการแพร่ของสารผ่านเมมเบรนจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

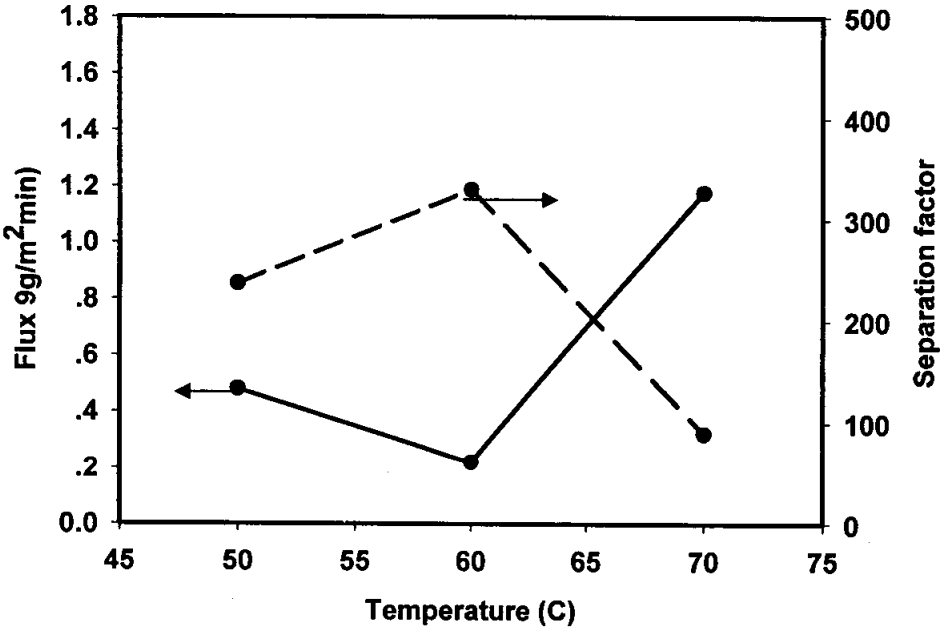
จากภาพที่ 4.10ก แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าฟลักซ์และค่า α โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบโพลิเมอร์ PVA 10% เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.10 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.10 ข) จะเห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสำหรับทดลองแยกเอทานอลในกระบวนการเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน เนื่องจากมีค่า α ของของผสมทั้งสองชนิดมีค่าสูงสุด และเมมเบรนชนิดนี้น่าจะเหมาะสำหรับแยกเอทานอลออกจากของผสมเอทานอลกับน้ำมากกว่า เพราะค่า α ของของผสมชนิดนี้มีค่าสูงกว่า ที่ 70 องศาเซลเซียส ฟลักซ์ของของผสมเอทานอลน้ำหมักมีค่าน้อยกว่าของผสมเอทานอลกับน้ำ เนื่องมาจากของผสมเอทานอลน้ำหมักเป็นของผสมหลายชนิดปริมาณของน้ำในน้ำหมักอาจจะน้อยกว่าของผสมเอทานอลกับน้ำ ปริมาณน้ำที่จะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนจึงมีไม่มากเท่ากับของผสมเอทานอลกับน้ำ จึงส่งผลให้ฟลักซ์ของของผสมเอทานอลน้ำหมักมีค่าน้อยการแยกสารจึงเกิดได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของอุณหภูมิที่ให้กับสารป้อนโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบโพลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำใช้เวลา 30 นาที และของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้เวลา 15 นาที

อุณหภูมิ (°C)	ชนิดของของผสม	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
		(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
50	เอทานอลกับน้ำ	14.362	64.375	14.203	63.648	0.433	0.238	0.195	105.305	45.164
	เอทานอลน้ำหมัก	13.911	62.254	13.979	62.541	0.481	0.188	0.293	237.452	113.733
60	เอทานอลกับน้ำ	14.747	66.101	14.787	66.259	0.162	0.052	0.110	432.278	69.867
	เอทานอลน้ำหมัก	13.931	62.344	13.882	62.110	0.221	0.153	0.068	330.174	72.747
70	เอทานอลกับน้ำ	14.106	63.227	14.366	64.377	0.789	0.376	0.422	63.001	49.477
	เอทานอลน้ำหมัก	14.467	64.742	14.655	65.567	1.179	0.540	0.639	89.803	104.699



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.10 (ก-ข) แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าฟลักซ์ (—●—) และค่า α (--●--) โดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะความดันด้านเพอร์มิเอต 50.8 มิลลิเมตรปรอท เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลกับน้ำ (ภาพที่ 4.10 ก) และของผสมเอทานอลน้ำหมัก (ภาพที่ 4.10 ข)

4.5 ผลของความดันด้านเพอร์มิเอตต่อระบบเมมเบรนเพอร์แวปพอเรชัน

การทดลองนี้ใช้สภาวะการทดลองที่ความดันด้านเพอร์มิเอต 2 ระดับคือ 50.8 และ 101.6 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ก็ได้จากข้อมูลในหัวข้อที่ 4.4 โดยใช้เมมเบรนสองชนิดคือเมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทและเมมเบรนเซลลูโลสเคลือบพอลิเมอร์ PVA 10% ทดลองด้วยของผสมคือ ของผสมเอทานอลในน้ำหมัก ซึ่งการเก็บตัวอย่างของผสมคล้ายกับการเก็บที่ได้กล่าวไวในหัวข้อที่ 4.3 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลของการเพิ่มดันด้านเพอร์มิเอตโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทการทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที (เป็นสภาวะทีได้จากหัวข้อที่ 4.4) พบว่า การเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตทำให้ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มลดลงและค่า α ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตจะทำให้ระบบมีความเป็นสุญญากาศน้อยลง ซึ่งเป็นการลดแรงขับดันสารให้ผ่านเมมเบรนได้น้อยลง

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลของการเพิ่มดันด้านเพอร์มิเอตโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบโพลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้เวลา 15 นาที (เป็นสภาวะทีได้จากหัวข้อที่ 4.4) พบว่า การเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตทำให้ค่าฟลักซ์ค่า α มีแนวโน้มลดลง

จากตารางทั้งสองจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความดัน ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ค่า α มีแนวโน้มลดลง ถึงแม้ว่าจะใช้เมมเบรนต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Jiraratananon และคณะ (2002) ที่ได้ทำการศึกษาการแยกเอทานอลกับน้ำโดยใช้เมมเบรนเชิงประกอบชนิดไคโตซานและไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส มีการแปรผันความดันด้านเพอร์มิเอต 3, 10, 20 และ 30 มิลลิเมตรปรอท ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตมากขึ้นจะทำให้ฟลักซ์และค่า α ลดลง

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการเพิ่มดันด้านเพอร์มิเอตโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสอะซีเตทใช้สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทดลองเดินระบบด้วยของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที

ดันด้านเพอร์มิเอต (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
	(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
50.8	13.919	62.290	13.891	62.086	0.236	0.067	0.169	577.366	136.022
101.6	13.911	62.254	13.942	62.363	0.107	0.024	0.083	521.054	55.646

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการเพิ่มดันด้านเพอร์มิเอตโดยใช้เมมเบรนเซลลูโลสเคลือบโพลิเมอร์ PVA 10% ทำการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เดินระบบด้วยของผสมเอทานอลน้ำหมักใช้ เวลา 15 นาที

ดันด้านเพอร์มิเอต (มิลลิเมตรปรอท)	ความเข้มข้นของเอทานอลก่อนทดลอง		ความเข้มข้นของเอทานอลหลังทดลอง		J_{total} (g/m^2min)	$J_{Ethanol}$ (g/m^2min)	J_{H2O} (g/m^2min)	α	PSI (g/m^2min)
	(%)	(g/l)	(%)	(g/l)					
50.8	13.931	62.344	13.882	62.110	0.221	0.153	0.068	330.174	72.747
101.6	14.204	63.586	14.229	63.665	0.176	0.052	0.124	568.020	99.972